

III-555 逆解析手法を用いた凍結時の土の熱特性の評価

飛鳥建設(株) 構造技術部 正 近久 博志
飛鳥建設(株) 構造技術部 正 ○藤原 雅博
飛鳥建設(株) 構造技術部 正 中原 博隆
飛鳥建設(株) 構造技術部 正 小野 一博

1. はじめに

地盤凍結工法は、凍結管に冷凍液を循環させることにより凍結管周囲の地盤を冷却し、凍土を造成していく工法である。凍結工法の設計を行う場合、地盤の熱特性の評価が重要な項目となる。本論文は、有限要素法による潜熱を考慮した非定常熱伝導解析に、非線形計画法を応用した逆解析手法を用いて、地盤凍結後の熱特性を同定し、実験結果との比較により本手法の適用性を示すとともに、得られた地盤の熱特性について考察を加えるものである。

2. 熱特性実験

実験に用いた供試体は、直径 20 cm、高さ 20 cm の円柱型枠に下部有楽町層シルト層から採取した攪乱試料を詰めることによって製作した。供試体と温度測定用熱電対の埋設位置の概略図を図-1 に示す。また、供試体の熱特性試験結果を表-1 に示す。

24.4℃に保たれた恒温恒湿装置に供試体を設置し、供試体の内部温度の安定を確認した後に、装置内の温度を-20.0℃に変化させた。測定された供試体の内部温度の経時変化を図-2 に示す。

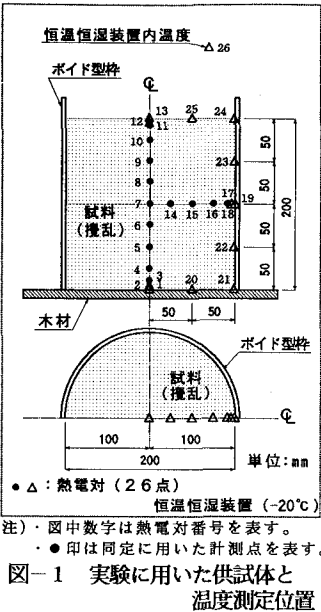


表-1 供試体の熱特性試験結果(攪乱試料)

熱特性	凍結前	凍結後
密度 (ton/m ³)	1.69	1.62
比熱 (kcal/kg・℃)	0.437	0.381*
熱伝導率 (kcal/m・h・℃)	1.06	2.41*
潜熱 (kcal/kg)		28.6*

※ 表中の * 印は、温度測定データから同定された結果

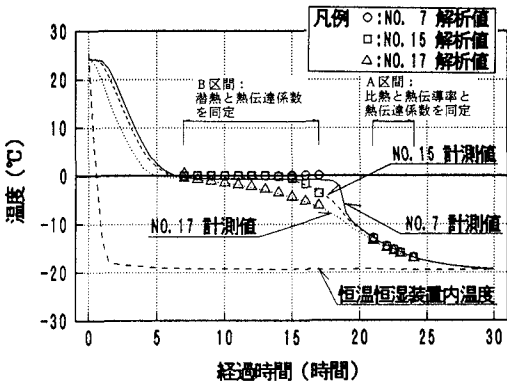


図-2 供試体内部温度の経時変化および解析結果

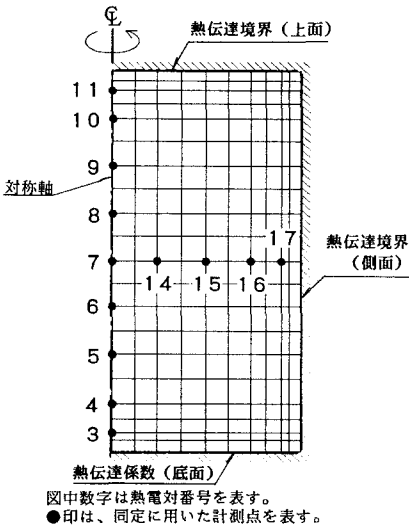


図-3 逆解析に用いた解析モデル

3. 計測結果の評価

図-3に示すような有限要素法の軸対称モデルを用いて、図中●印で示す13測点の温度計測データを基に、供試体の熱特性（潜熱、凍結後の比熱や熱伝導率等）や熱境界特性（供試体の上面、底面および側面の熱伝達係数）を同定する。この時、供試体周辺部は、恒温恒湿装置内の温度を外部温度とする熱伝達境界として評価する。

解析手順を示すと次のようになる。まず、供試体全体が完全に凍結したと考えられる凍結開始後20.5時間後から24.0時間後まで（図-2のA区間）の温度測定データを基に、供試体の凍結後の比熱と熱伝導率および供試体周辺の熱伝達係数を0.5時間間隔で同定する。

次に、同定された供試体の凍結後の比熱と熱伝導率を既知の値として、凍結面の進展が顕著な凍結開始6.5時間後から17.0時間後（図-2のB区間）までの温度測定データを基に、供試体の潜熱と供試体周辺の熱伝達係数を0.5時間間隔で同定する。

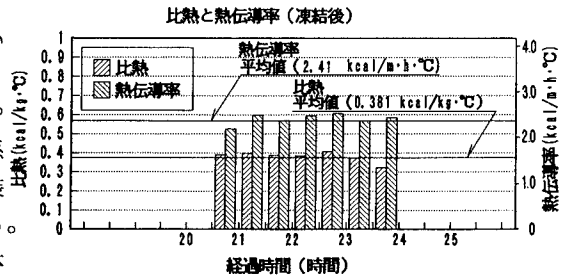


図-4 同定された凍結後の比熱と熱伝導率の経時変化図

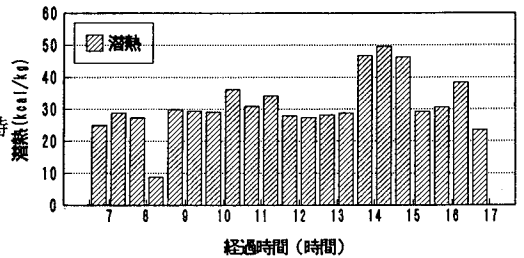


図-5 同定された供試体の潜熱の経時変化図

4. 解析結果

供試体の内部温度の計測結果と解析結果（1時間間隔で記入）とを比較すると、図-2のようになる。相変化がある非定常な温度変化にも拘らず、解析結果としての内部温度は、最大でも0.90℃程度の誤差であり、解析値は計測値を精度よく評価していることが分かる。

図-4～6に示すように同定された供試体の凍結後の比熱や熱伝導率は、標準偏差にして、0.381 kcal/kg・°C、と0.827 kcal/m・h・°Cと小さく、安定した結果となっている。供試体の潜熱に関しては、計測誤差等の影響と思われる特異な同定結果も含まれており、標準偏差にして8.73 kcal/kgとなっているが、図-6を見れば全体的に良い同定結果であることが分かる。

図-7に示すように、同定された供試体の上面、底面および側面の熱伝達係数は、標準偏差にして1.91, 2.82, 1.08 kcal/m²・hr・°Cと比較的大きな値を示している。これは、凍結実験の初期段階と最終段階では、供試体の境界付近では未凍土から凍土へと性状が大きく変化しているためであると考えられる。

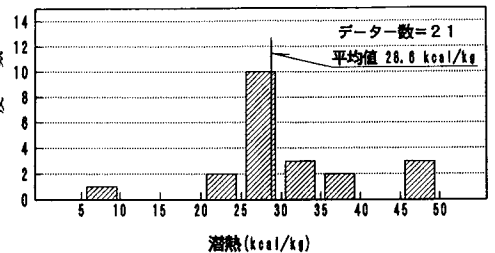


図-6 同定された供試体の潜熱の頻度図

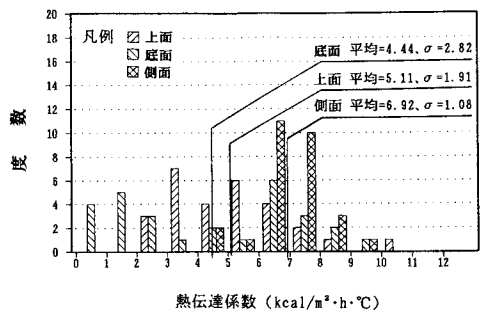


図-7 同定された供試体表面の熱伝達係数の頻度図

5. おわりに

事前調査や室内試験などからは求め難いとされていた凍結時の地盤の熱特性が、本逆解析手法を適用することにより、簡単な実験からでも手軽に評価できることがわかった。今後、さらに地盤凍結工法が採用された現場での計測データを基にした地盤の熱特性の評価を予定している。